

**SIMULASI PENGARUH PENDINGINAN UDARA, *FLUIDA* CAIR,  
dan KOMBINASI PENDINGINAN UDARA-*FLUIDA* CAIR PADA  
MOTOR BLDC 10 KW *LIQUID COOLING* MENGGUNAKAN APLIKASI  
*SOLIDSWORKS FLOW SIMULATION***

Diajukan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**RIZADI BUDI PERMANA**

**NIM I1410029**

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SEBELAS MARET**

**SURAKARTA**

**2016**



KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET - FAKULTAS TEKNIK  
**PROGRAM STUDI S1 TRANSFER TEKNIK MESIN**

Jl Ir Sutami No. 36A Kentingan Surakarta Telp. 0271 632163 web: mesin.ft.uns.ac.id

**SURAT TUGAS PEMBIMBING DAN PENGUJI TUGAS AKHIR**  
**PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN UNS**  
Program Studi : **S1 Transfer Teknik Mesin**  
Nomor : **0598/TA/S1/03/2015**

Nama : **RIZADI BUDI PERMANA**  
NIM : **11410029**  
Bidang : **Konversi Energi**  
Pembimbing 1 : **Prof. Muhammad Nizam ST., MT.,  
Ph.D/197007201999031001**  
Pembimbing 2 : **EKO PRASETYO B., ST,MT/197109261999031002**  
Penguji : **1. WIBOWO, ST,MT/ 196904251998021001  
2. PURWADI JOKO WIDODO, ST, M. KOM/  
197301261997021001  
3. D. DANARDONO, ST, MT, PhD/ 196905141999031001**  
Mata Kuliah Pendukung  
1. **(MS03013-10)**  
2. **(MS06123-10)**  
3. **(MS06053-10)**

Judul Tugas Akhir

**"SIMULASI PENGARUH PENDINGINAN UDARA , FLUIDA  
CAIR, dan KOMBINASI PENDINGINAN UDARA-FLUIDA  
CAIR PADA MOTOR BLDC 10 KW LIQUID COOLING"**

Surakarta, **2015-03-04 07:57:58**  
Kepala Program Studi S1 Teknik Mesin,

**DR ENG. SYAMSUL HADI, ST,MT**  
NIP. **197106151998021002**

Tembusan :

1. Mahasiswa ybs.
2. Dosen Pembimbing TA ybs.
3. Koordinator TA.
4. Arsip.

**SIMULASI PENGARUH PENDINGINAN UDARA , FLUIDA CAIR, dan  
KOMBINASI PENDINGINAN UDARA-FLUIDA CAIR PADA MOTOR BLDC  
10 KW LIQUID COOLING**


*Disusun Oleh*

**RIZADI BUDI PERMANA**  
NIM : **I1410029**

*Dosen Pembimbing 1*

  
**Prof. Muhammad Nizam ST., MT., Ph.D**  
NIP. **197007201999031001**

*Dosen Pembimbing 2*

  
**EKO PRASETYO B., ST,MT**  
NIP. **197109261999031002**

*Telah dipertahankan di depan Tim Dosen Penguji pada tanggal 25-04-2016, pukul 13.00-16.00, di M.101, Gd .1 FT-UNS*

1. **WIBOWO, ST,MT**  
196904251998021001
2. **PURWADI JOKO WIDODO, ST, M. KOM**  
197301261997021001
3. **D. DANARDONO, ST, MT, PhD**  
196905141999031001



*Kepala Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret  
Surakarta*

  
**DR ENG. SYAMSUL HADI, ST,MT**  
NIP. **197106151998021002**

*Koordinator Tugas Akhir*

  
**DR. NURUL MUHAYAT, ST,MT**  
NIP. **197003231998021001**

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **Motto**

***“Ora Et Labora”***

***“Education is not the learning of the facts,  
but the training of the mind to think”***

***“A person who never made a mistake never tried anything new”***

***“The key of success is hard work and determination”***

### **Persembahan**

**Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada:**

**Keluarga dan teman-teman**

## ABSTRAK

### **RIZADI BUDI PERMANA, SIMULASI PENGARUH PENDINGINAN UDARA, *FLUIDA* CAIR, dan KOMBINASI PENDINGINAN UDARA-*FLUIDA* CAIR PADA MOTOR BLDC 10 KW MENGUNAKAN APLIKASI *SOLIDWORKS FLOW SIMULATION***

Penelitian pengaruh pendinginan udara, *fluida* cair, dan kombinasi pendinginan udara-*fluida* cair pada motor BLDC 10 KW bertujuan untuk mengetahui distribusi temperatur yang terjadi dari sebuah motor BLDC menggunakan aplikasi *Solidworks Flow simulation*. Penelitian dilakukan menggunakan sumber panas 500 Watt dengan 3 variasi pendinginan. Variasi pertama yaitu pendinginan udara dengan kecepatan udara 12 m/s. Variasi kedua menggunakan pendingin cair dengan laju aliran massa 0.05 kg/s, sistem pendinginan berupa saluran yang ada dibelakang yang mengelilingi motor. Variasi ketiga adalah kombinasi variasi pertama dan kedua. Hasil pemodelan dengan variasi pertama menghasilkan temperatur terendah 67.47 °C, variasi kedua menghasilkan temperatur terendah 85.83 °C, dan variasi ketiga menghasilkan temperatur terendah 57.01 °C. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi ketiga adalah variasi terbaik karena pada variasi ini proses pelepasan panas *konveksi* dapat optimal

Kata kunci: BLDC motor, Solidworks flow simulation, ditribusi temperatur

## **ABSTRACT**

### **RIZADI BUDI PERMANA, SIMULATION EFFECT OF AIR COOLING, LIQUID COOLING, AND A COMBINATION OF AIR COOLING AND LIQUID COOLING IN THE BLDC MOTOR 10 KW USING SOLIDWORKS FLOW SIMULATION**

*The influence study of air cooling, liquid cooling, and combination of air-liquid cooling in the 10 KW BLDC motor has purposed to determine a temperature distribution in a BLDC motor by using Solidworks Flow Simulation. The study will be conducted by 500 Watt of heat source and 3 cooling variations. The first variation is air cooling with 12 m/s of air velocity. The second variation using liquid cooling with 0.05 kg/s of inlet mass flow, the cooling system in the form of a channel which is behind that surrounds the motor. The third variation is a combination of frist variation and second variation. The modelling has been done by using solidworks flow simulation. The result is first variation produced a 67.47 °C of low temperature, the second variation produced a 85.83 °C of low temperature , and the third variation produced of 57.01 °C of low temperature. From the result of simulation is showing that the third variation is the best variation because in this variation, convection heat transfer can be optimum.*

*Keyword: BLDC motor, Solidworks Flow Simulation, Temperature distribution*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur dan terimakasih penulis haturkan ke hadirat TUHAN YME, karena dengan kasih karunia-NYA sehingga Penulis dapat melaksanakan penelitian dan menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul ,“**SIMULASI PENGARUH PENDINGINAN UDARA, *FLUIDA CAIR*, dan KOMBINASI PENDINGINAN UDARA-*FLUIDA CAIR* PADA MOTOR BLDC 10 KW MENGGUNAKAN APLIKASI *SOLIDWORKS FLOW SIMULATION*”**, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak yang sangat berarti demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Oleh sebab tersebut pada kesempatan ini penulis mengucapkan rasa terima kasih sedalam dalamnya kepada :

1. Prof. Muhammad Nizam, S.T., M.T., Ph.D., selaku Pembimbing 1 tugas akhir, atas bimbingan, nasehat, kesabaran dan ilmu pengetahuan yang diajarkannya.
2. Eko Prasetya Budiana, ST.,MT., selaku Pembimbing 2 tugas akhir, atas bimbingan, nasehat, kesabaran, motivasi dan ilmu pengetahuan yang diajarkannya.
3. Dr. Eng. Syamsul Hadi, S.T., M.T., selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin UNS
4. Bapak–bapak dosen dan staf karyawan di lingkungan Teknik Mesin UNS, atas didikan, nasehat, ilmu yang diajarkan dan kerjasamanya.
5. Rekan kerja PT. IFARS Pharmaceutical Labs., yang selalu memberikan semangat
6. Ayah, Ibu dan adik yang selalu memberikan dorongan semangat dan doa kepada Penulis terima kasih untuk kasih sayangnya.
7. Keluarga Wonosari yang sudah menumbuhkan semangat untuk menyelesaikan skripsi.
8. Teman–teman Teknik Mesin transfer angkatan 2010 dan teman–teman Teknik Mesin UNS.

9. Seluruh pihak yang telah membantu Penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Dengan segenap bantuan dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis semoga akan mendapat berkat dari Tuhan Yang Maha Esa.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih belum dapat dikatakan sempurna, untuk itu dengan sangat dan rendah hati penulis menerima kritikan maupun saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir tersebut. Akhir kata penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Surakarta, 25 April 2016

Penulis



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Tabel perbandingan hasil model validasi dengan model dari Duc Thuan Vu dan Pyung Hwan tanpa jalur pendinginan udara
Tabel 4.2.	Tabel perbandingan hasil model validasi dengan model dari Duc Thuan Vu dan Pyung Hwan pada motor dengan jalur pendinginan udara
Tabel 4.3.	Kondisi batas variasi simulasi 1 motor BLDC 10 KW( <i>air cooling</i> )
Tabel 4.4.	Kondisi batas variasi simulasi 2 motor BLDC 10 KW( <i>liquid cooling</i> )
Tabel 4.5.	Kondisi batas variasi simulasi 3 motor BLDC 10 KW( <i>air cooling+liquid cooling</i> )
Tabel 4.6.	Tabel perbandingan Temperatur maksimum dan minimum pada 3 variasi pendinginan

## DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1. Volume Control
- Gambar 3.1. Geometri awal motor BLDC
- Gambar 3.2. Geometri Motor jalur *Liquid Cooling* Motor BLDC
- Gambar 3.3. Diagram Alir simulasi
- Gambar 4.1. Model Motor dengan jalur pendinginan udara
- Gambar 4.2. Distribusi *temperature* pada motor BLDC 12 KW tanpa jalur pendinginan udara
- Gambar 4.3. Distribusi *temperature* pada motor BLDC tanpa jalur pendinginan udara yang dilakukan oleh Vu dan Hwan
- Gambar 4.4. Distribusi *temperature* pada motor BLDC 12 KW dengan jalur pendinginan udara
- Gambar 4.5. Distribusi *temperature* pada motor BLDC dengan jalur pendinginan udara yang dilakukan oleh Vu dan Hwan
- Gambar 4.6. Distribusi *temperature* variasi 1(*air cooling*) sumbu-x
- Gambar 4.7. Distribusi *temperature* variasi 1(*air cooling*) sumbu-z
- Gambar 4.8. Distribusi *temperature* variasi 2(*liquid cooling*) sumbu-x
- Gambar 4.9. Distribusi *temperature* variasi 2(*liquid cooling*) sumbu-z
- Gambar 4.10. Distribusi *temperature* variasi 3(*Air Cooling+liquid cooling*) pada sumbu-x
- Gambar 4.11. Distribusi *temperature* variasi 3 (*Air Cooling+liquid cooling*) pada sumbu-z

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR TABEL .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR ISI.....	x
BAB I    PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
BAB II   LANDASAN TEORI .....	5
2.1. Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori.....	6
2.1.1 Motor Brushless DC.....	6
2.1.2 Konveksi.....	8
2.1.3 Konduksi.....	9
2.1.4 Persamaan Atur .....	9
2.1.5 <i>SOLIDSWORKS FLOW SIMULATION</i> .....	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	12
3.1 Alat dan Bahan .....	12
3.2 Garis Besar Penelitian .....	12
3.2.1 Pemodelan.....	12
3.2.2 <i>FLOW SIMULATION</i> .....	13

3.2.3 Penentuan Kondisi Batas.....	13
3.2.4 <i>Meshing</i> .....	14
3.2.5 Hasil Penelitian .....	14
3.2.6 Pelaksanaan Penelitian .....	14
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	18
4.1 Validasi .....	16
4.3 Variasi Simulasi 1 (Air Cooling).....	21
4.4 Variasi Simulasi 2 (Liquid Cooling) .....	23
4.5 Variasi Simulasi 3 (Air Cooling + Liquid Cooling) .....	25
4.6 Pembahasan .....	27
BAB V PENUTUP.....	28
DAFTAR PUSTAKA .....	29
LAMPIRAN.....	30

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang Masalah**

Motor listrik adalah bagian penting dalam suatu Industri. Perkembangan dunia industri yang sangat pesat membuat banyak industri motor listrik berlomba-lomba dalam menyajikan motor listrik dengan berbagai macam variasi. Teknologi yang dikembangkan oleh industri motor listrik adalah sistem pendinginan motor listrik. Pendinginan dalam suatu motor listrik merupakan hal penting karena bagus atau tidaknya suatu pendinginan suatu motor listrik menentukan umur dari motor listrik itu sendiri.

Motor listrik adalah sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk memutar *impeller* pompa, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan. Prinsip kerja pada motor listrik yaitu tenaga listrik diubah menjadi tenaga mekanik, perubahan ini dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektro magnet. Kutub-kutub dari magnet yang senama akan tolak-menolak dan kutub-kutub tidak senama akan tarik-menarik dengan menempatkan sebuah magnet pada sebuah poros yang dapat berputar dan magnet yang lain pada suatu kedudukan yang tetap. Jenis motor listrik ada 2 yaitu motor AC dan Motor DC.

Motor AC adalah Motor arus bolak-balik (*alternating current*) menggunakan arus listrik yang dibalikkan arahnya secara teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik memiliki dua bagian dasar listrik yaitu *stator* dan *rotor*. *Stator* merupakan komponen listrik statis dan *rotor* merupakan komponen listrik yang berputar.

Motor DC adalah Motor arus searah (*Direct Current*) yang menggunakan arus langsung. Motor DC digunakan untuk keperluan khusus dimana diperlukan torsi penyalan yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.

Jenis-jenis motor DC adalah :

- *Brushed Motor*

Motor DC dengan sikat (*brush*) yang berfungsi sebagai pengubah arus pada kumparan sedemikian rupa sehingga arah putaran motor akan selalu sama

- *Brushless Motor*

Motor DC tanpa sikat (*brush*) menggunakan suatu rangkaian elektronik sederhana yang merubah dan membalik arah putarannya untuk menggerakkan motor.

Dalam Tugas Akhir ini, penelitian yang dilakukan adalah mensimulasikan sistem pendingin motor DC. Sistem pendingin yang disimulasikan adalah dengan media pendingin udara, cairan, dan kombinasi udara-cairan dengan sumber panas 500 Watt.

Analisa pendinginan pada motor menjadi suatu hal yang penting dalam proses perancangan sebuah motor yang optimal dari sisi desain dan dari sisi pendinginannya. Simulasi system pendinginan motor BLDC ini dilakukan dengan aplikasi *Solidworks Flow Simulation*.

## 1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimanakah distribusi *temperature* yang terjadi saat ada sumber panas dengan pendinginan udara yang bergerak pada kecepatan tertentu.
2. Bagaimanakah distribusi *temperature* yang terjadi saat ada sumber panas dengan pendinginan berupa *fluida* cair yang melewati *system*.
3. Bagaimanakah distribusi *temperature* yang terjadi saat ada sumber panas dengan pendinginan berupa udara yang bergerak dengan kecepatan tertentu dan dengan adanya system pendinginan dengan *fluida*.

### 1.3. Batasan Masalah

Batasan yang akan diuji pada penelitian kali ini adalah :

- a. Motor akan disimulasikan tanpa ada faktor getaran
- b. Proses analisa hanya pada permukaan luar dan dalam pada motor
- c. Sumber panas yang digunakan menggunakan heat loss motor 5% dari daya motor BLDC

### 1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi *temperature* yang terjadi dari sebuah motor BLDC dengan menggunakan aplikasi *Solidworks Flow Simulation*. Variasi sistem pendingin yang diteliti adalah pendinginan udara, cairan, dan kombinasi pendinginan udara-cairan.

### 1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Penerapan ilmu pengetahuan yang telah dipelajari di bangku kuliah
2. Untuk mengembangkan ilmu pengetahuan, terutama dalam bidang komputasi pemodelan alat penukar *kalor*
3. Untuk membuktikan bahwa Motor BLDC masih dapat dioptimasi melalui pemodelan *Solidworks Flow Simulation*.
4. Untuk membuktikan bahwa pendinginan motor dengan udara dan *fluidacair* dapat mengoptimalisasi kinerja suatu Motor BLDC

## **1.6. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang digunakan :

- BAB I : Pendahuluan, berisi latar belakang masalah, batasan dan perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian
- BAB II : Landasan teori berisi tentang tinjauan pustaka dan dasar teori tentang motor listrik
- BAB III : Metodologi penelitian, berisi tentang alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian serta cara penelitian
- BAB IV : Data dan analisa, berisi data hasil penelitian (simulasi) dan analisa hasil.
- BAB V : Penutup, berisi kesimpulan yang diperoleh dan saran-saran bagi penelitian selanjutnya.
- BAB VI : Daftar Pustaka
- BAB VII : Lampiran



## BAB 2

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

James Kuria (2011), melakukan riset pada motor BLDC menggunakan analisis. Analisa yang dilakukan meliputi permasalahan thermal pada motor, panas yang dihasilkan pada *losses electromagnet*, dan analisa geometri dari *housing* pada motor yang dimodifikasi. Penelitian menunjukkan suhu tertinggi terjadi saat akhir *winding* pada motor. Simulasi ini dilakukan dengan modifikasi *fin* motor yang berpengaruh pada laju perpindahan panas yang mampu mengurangi suhu pada akhir *winding* pada motor sampai 15% .

Vu dan Hwang(2013), menggunakan analisa *CFD* pada design *housing* pada motor BLDC. Motor BLDC di modifikasi dengan penambahan jalur pendinginan udara yang memungkinkan aliran udara pada bodi motor dapat lancar. Hasil modifikasi tersebut adalah pendinginan motor dapat berlangsung dengan baik.

Handoyo dan Ahsan (2012), melakukan penelitian pada alat penukar *kalor* jenis *Shell and tube*. Pengotoran pada system *heat exchanger* menyebabkan efektivitas penukar *kalor* dari *Shell and Tube* itu berkurang.

Patel dkk (2014), melakukan penelitian tentang pengaruh diameter tabung, laju aliran massa dan panjang *pitch* dalam penukar *kalor* menggunakan perangkat lunak Solidworks. Penelitian dilakukandengan variasi diameter tabung, laju aliran massa, dan panjang *pitch*. Parameter yang berpengaruh terhadap efisiensi penukar *kalor* adalah diameter tabung, semakin besar diameter tabung yang digunakan didapatkan efisiensi terbaik terhadap perbedaan suhu maksimum penukar *kalor*.

## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1. Motor *BRUSHLESS DC*

BLDC motor adalah suatu jenis motor dimana medan magnet yang dihasilkan oleh *stator* dan medan magnet *rotor* berputar pada frekuensi dan kecepatan yang sama. BLDC motor tidak mengalami slip, tidak seperti yang terjadi pada motor induksi biasa. BLDC Motor merupakan sebuah perangkat *elektromagnetis* yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.

Motor *Brushless Direct Current* (BLDC) adalah salah satu jenis motor yang digunakan di dunia industri seperti Permobilan, Otomasi Medis, Industri dan Peralatan Instrumentasi. BLDC motor tidak menggunakan sikat atau *brush* untuk pergantian medan magnet (komutasi), tetapi dilakukan secara *elektronis commutated*. Motor BLDC mempunyai banyak keuntungan dibandingkan dengan DC motor dan Motor induksi biasa.

Brushless DC (BLDC) motor adalah pilihan ideal untuk aplikasi sistem yang memerlukan keandalan yang tinggi dan efisiensi tinggi, secara umum motor BLDC dianggap motor performa tinggi yang mampu memberikan jumlah besar torsi pada rentang kecepatan yang luas.

Berikut ini adalah bagian utama pada motor:

- *Rotor*

*Rotor* adalah bagian pada motor yang berputar karena adanya gaya *elektromagnetik* dari *stator*. Motor DC *brushless* bagian *rotornya* berbeda dengan *rotor* pada motor DC konvensional yang hanya tersusun dari satu buah elektromagnet yang berada diantara *brushes* (sikat) yang terhubung pada dua buah motor hingga delapan pasang kutub magnet permanen berbentuk persegi panjang yang saling direkatkan menggunakan semacam “*epoxy*” dan tidak ada *brushes*-nya. *Rotor* dibuat dari magnet tetap dan dapat desain dari dua sampai delapan kutub Magnet, utara (N) atau selatan (S). Material magnet yang bagus sangat diperlukan untuk mendapatkan kerapatan medan magnet yang bagus. Biasanya magnet *ferrit* yang dipakai untuk membuat magnet tetap.

- *STATOR*

*Stator* suatu BLDC motor terdiri dari tumpukan baja laminasi dengan lilitan . *Stator* menyerupai motor induksi, tetapi lilitannya dibuat sedikit berbeda. Kebanyakan BLDC motor mempunyai tiga gulungan *stator* dihubungkan secara bintang. Masing-Masing ini lilitan dibangun dengan banyak coil saling berhubungan untuk membentuk suatu lilitan. Satu atau lebih coil ditempatkan dalam slot dan mereka saling berhubungan untuk membuat suatu lilitan. Masing-Masing lilitan ini dibagi-bagidi atas batas luar *stator* untuk membentuk suatu bilangan genap kutub. *Stator* adalah bagian pada motor yang diam/statis dimana fungsinya adalah sebagai medan putar motor untuk memberikan gaya *elektromagnetik* pada *rotor* sehingga motor dapat berputar, pada motor DC *brushless* *stator*nya terdiri dari 12 belitan (*elektromagnet*) yang bekerja secara elektromagnetik dimana *stator* pada motor DC *brushless* terhubung dengan tiga buah kabel untuk disambungkan pada rangkaian kontrol sedangkan pada motor DC konvensional *stator*nya terdiri dari dua buah kutub magnet permanen.

- *Sensor Hall*

Motor DC *brushless* diatur secara elektronik agar motor dapat berputar, *stator* harus di-*energize* secara berurutan dan teratur. Sensor hall inilah yang berperan dalam mendeteksi pada bagian *rotor* mana yang ter-*energize* oleh *fluks* magnet sehingga proses komutasi yang berbeda (enam step komutasi) dapat dilakukan oleh *stator* dengan tepat karena sensor hall ini dipasang menempel pada *stator*.

Hall sensor ini ditempatkan setiap 120° pada jarak antar kutub *stator* hal ini bertujuan agar deteksi terhadap *vector fluks* *stator* yang dihasilkan akurat setiap perpindahan komutasi, arus yang mengalir tetap terjaga konstan pada setiap fasa. Prinsip kerja hall sensor sendiri membutuhkan arus yang mengalir terus jika ingin digunakan sebagai pendeteksi *fluks* magnet, bila butiran-butiran yang terdapat dimisalkan sebagai gambaran sebagai medan magnet, maka daya *elektromagnet* dibuat atas dasar gerakan elektron seperti yang diberikan oleh kaedah tangan kiri *Fleming*. Sewaktu daya elektron dibiaskan pada sisi kiri, akibatnya kutub negatif di sisi kiri dan kutub positif di sisi yang lain (kanan). *Polaritas elektrostatik* bergantung pada yang dialami butir apakah ber kutub utara

atau ber kutub selatan dan digunakan untuk menyatakan sinyal pada posisi *rotor* dalam batas *polaritas* magnet, bila motor DC *brushless* menggunakan elemen hall sebagai sensor posisi, maka semua elemen-elemen penting dibuat dalam bentuk terpadu sesuai. Misalnyajika level output adalah H untuk kutub utara, maka level output akan L bila diletakkan pada kutub selatan. Dalam hal ini ketiga IC hall digunakan sebagai driver untuk motor BLDC tiga phasa.

### 2.2.2. Konveksi

Konveksi panas terjadi karena partikel zat yang mempunyai *temperature* lebih tinggi berpindah tempat secara mengalir sehingga dengan sendirinya terjadi perpindahan panas melalui perpindahan massa.

Perpindahan panas konveksi terjadi antara permukaan dengan *fluida* yang mengalir apabila keduanya mempunyai *temperature* yang berbeda ketika *fluida* melaju melalui benda padat, dan dengan *temperature* yang berbeda. Perpindahan *kalor* terjadi antara *fluida* dan permukaan padat sebagai hasil dari pergerakan *fluida*.

Perpindahan panas secara konveksi dibagi menjadi dua, yaitu :

- Konveksi Paksa ( *Forced Convection* )

Terjadi jika pergerakan *fluida* disebabkan oleh mekanisme dari luar secara paksa seperti oleh blower, pompa, atau fan.

- Konveksi Alami ( *Free Convection* )

Terjadi jika pergerakan *fluida* dikontrol sebagai hasil dari perbedaan massa jenis (densitas) yang disebabkan oleh perbedaan *temperature* diantara *fluida*.

Perpindahan panas konveksi dirumuskan (Holman, 1987) :

$$q = h \cdot A \cdot \Delta T \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

h	= Koefisien Konveksi	(W/m <sup>2</sup> .K)
A	= Luas Permukaan Konveksi	(m <sup>2</sup> )
$\Delta T$	= Perbedaan Suhu	(K)

### 2.2.3. Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan energi yang terjadi pada *medium* yang diam (padat atau zat yang dapat mengalir) apabila terdapat gradien *temperature* dalam medium tersebut.

Hukum Fourier menyatakan bahwa laju perpindahan panas konduksi dirumuskan (Holman, 1987) :

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

$q_x$  = Laju perpindahan panas (W)

$\frac{dT}{dx}$  = Gradien *Temperature* terhadap jarak dalam arah aliran panas x

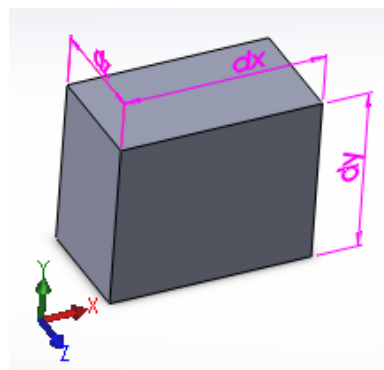
A = Luas Permukaan benda ( $m^2$ )

k = Konduktifitas termal ( $W/m^\circ C$ )

### 2.2.4. Persamaan Atur

Serangkaian persamaan yang menjelaskan pergerakan dari suatu *fluida* seperti cairan dan gas. Dalam persamaan atur, yang harus diperhatikan adalah kesetimbangan massa, kesetimbangan gaya-momentum, dan kesetimbangan energy.

Persamaan yang berhubungan dengan aliran *fluida* dimodifikasi sesuai dengan kondisi permasalahan pada simulasi. Kondisi aliran dianggap *steady state*.



Gambar 2.1. Volume control

Hukum kekekalan Massa

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}\right) = 0 \dots\dots\dots (2.3)$$

Hukum Kekekalan Momemtum

$$\text{Arah x} = u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\text{Arah y} = u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\text{Arah z} = u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \dots\dots\dots (2.6)$$

Persamaan Energi

$$\text{Energi} = u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \left( \frac{k}{\rho \cdot cp} \right) \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \left( \frac{\mu}{\rho \cdot cp} \right) \phi \quad (2.7)$$

Dimana

$$\phi = 2 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \left( \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right]^2 + \left[ \left( \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \left( \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right]^2 + \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \left( \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right]^2 \dots\dots\dots (2.8)$$

### 2.2.6. *Solidworks Flow Simulation*

*Solidworks Flow simulation* adalah suatu fitur pilihan dari *solidworks* yang dapat digunakan untuk pemodelan tiga dimensi dengan memasukkan parameter-parameter yang ada pada aplikasi. Berikut ini beberapa analisa yang dapat dilakukan oleh *solidworks flow simulation*:

- *Radiation heat transfer analysis*  
Melihat bagaimana panas ditransfer antar *high-temperature surfaces*.
- *Internal flow analysis*  
Melihat bagaimana cairan dan gas melewati katup, regulator, dan saluran.
- *Rotating reference frame analysis*  
Sangat mudah untuk memahami arus rotasi yang kompleks di dalam mesin turbo
- *Transient flow analysis*  
Untuk mensimulasikan aliran yang tidak stabil dari waktu ke waktu.
- *Conduction and convection heat transfer analysis*  
Melihat bagaimana panas mengalir melewati sebuah objek

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

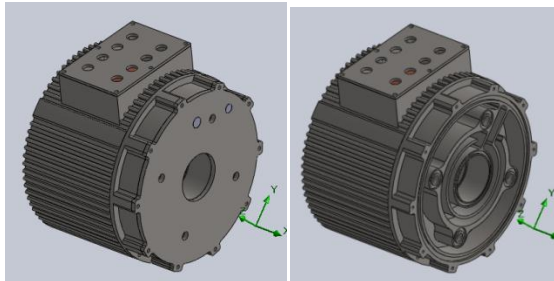
- a. Perangkat lunak *Solidworks* 2011
- b. Literatur pendukung penelitian

#### 3.2. Garis Besar Penelitian

##### 3.2.1. Pemodelan

Simulasi menggunakan aplikasi *Solidworks Flow simulation 2011*, Model motor BLDC 10 KW digambar menggunakan aplikasi *Solidworks*.

- c. Produk : *BLDC Motor*
- d. Model No. : *HPM 10KW Motor*
- e. Applicant : *GOLDEN MOTOR TECHNOLOGIES.CO.,LTD.*



(3.1.)

(3.2.)

Gambar 3.1. Geometri awal Motor BLDC

Gambar 3.2. Geometri Motor jalur *Liquid Cooling* Motor BLDC

Gambar 3.1. dan 3.2. Gambar tersebut menunjukkan struktur BLDC saat ditampilkan struktur jalur liquid cooling-nya. Motor ini terdapat adanya sekat sebagai jalur mengalirnya *fluida* cair yang berfungsi sebagai system pendingin.



### 3.2.2. Flow Simulation

Penelitian dilakukan dengan *Solidworksflow simulation*, komputasi dilakukan berdasarkan tahapan komputasi adalah membuat model 3D, *meshing*, aplikasi kondisi batas, eksekusi program, dan menampilkan hasil.

### 3.2.3. Penentuan Kondisi Batas

Dalam simulasi yang akan dilakukan, beberapa kondisi batas pada system adalah :

- Model : Motor BLDC 10 KW
- Heat Source : 500 Watt
- $\rho$  Udara : 1,17 kg/m<sup>3</sup>
- $v$  Udara : 12 m/s
- T udara awal : 30°C
- $\rho$  Air : 996 kg/m<sup>3</sup>
- $\dot{m}$  Air : 0.05 kg/s
- T air awal : 30°C

Akan dilakukan tiga macam variasi analisa laju perpindahan panas yang terjadi pada motor BLDC 10 KW ini, sumber panas yang akan diberikan adalah sumber panas yang terjadi dari stator karena terjadinya gesekan elektrostatik dengan rotor.

Variasi pertama yang dilakukan adalah motor BLDC 10 KW diberi sumber panas 500 Watt dan dialiri udara dari luar (*ambient air*) , dengan kecepatan 12 m/s dan suhu udara awal 30°C, dalam analisa yang dilakukan ini akan diketahui suhu yang terjadi pada body motor BLDC.

Variasi kedua yang dilakukan adalah motor BLDC 10 KW diberi sumber panas 500 Watt dan dialiri liquid pada system pendinginannya , dengan *inlet mass flow* 0,05 kg/s dan *environmental pressure* 1 atm, suhu *fluida* cair awal adalah 30°C, karena system motor sendiri adalah Liquid Cooling dimana media *fluida* adalah yang menjadi pendinginannya, pada simulasi ini suhu *fluida* akan ditahan pada suhu yang tetap dan akan bersirkulasi. Dalam analisa yang dilakukan ini akan diketahui suhu yang terjadi pada body motor BLDC.

Variasi ketiga adalah kombinasi dari analisa pertama dan analisa kedua yang akan dilakukan. Motor BLDC 10 KW diberi sumber panas 500 Watt, dialiri udara dari luar (*ambient air*) dengan kecepatan 12 m/s dan suhu udara awal 30°C, dialiri liquid pada system pendinginannya dengan *inlet mass flow* 0,05 kg/s dan *environmental pressure* 1 atm, suhu *fluida* cair awal adalah 30°C. karena system motor sendiri adalah Liquid Cooling dimana media *fluida* adalah yang menjadi pendinginannya, pada simulasi ini suhu *fluida* akan ditahan pada suhu yang tetap dan akan bersirkulasi. Dalam analisa yang dilakukan ini akan diketahui suhu yang terjadi pada body motor BLDC.

#### 3.2.4. **Meshing**

*Meshing* adalah proses pembentukan *grid* komputasi dimana komputer akan membagi desain dengan *grid-grid* yang lebih kecil untuk memproses langkah prediksi dalam setiap perhitungannya. *Grid* komputasi dalam *meshing partial* adalah untuk menghitung ruangan yang menjadi domain komputasi. Ukuran *grid* yang digunakan pada simulasi menggunakan *Solidworks Flow Simulation* yaitu setting mesh level tiga, artinya jarak minimum level mesh adalah 0.0041 m.

#### 3.2.5. **Hasil Penelitian**

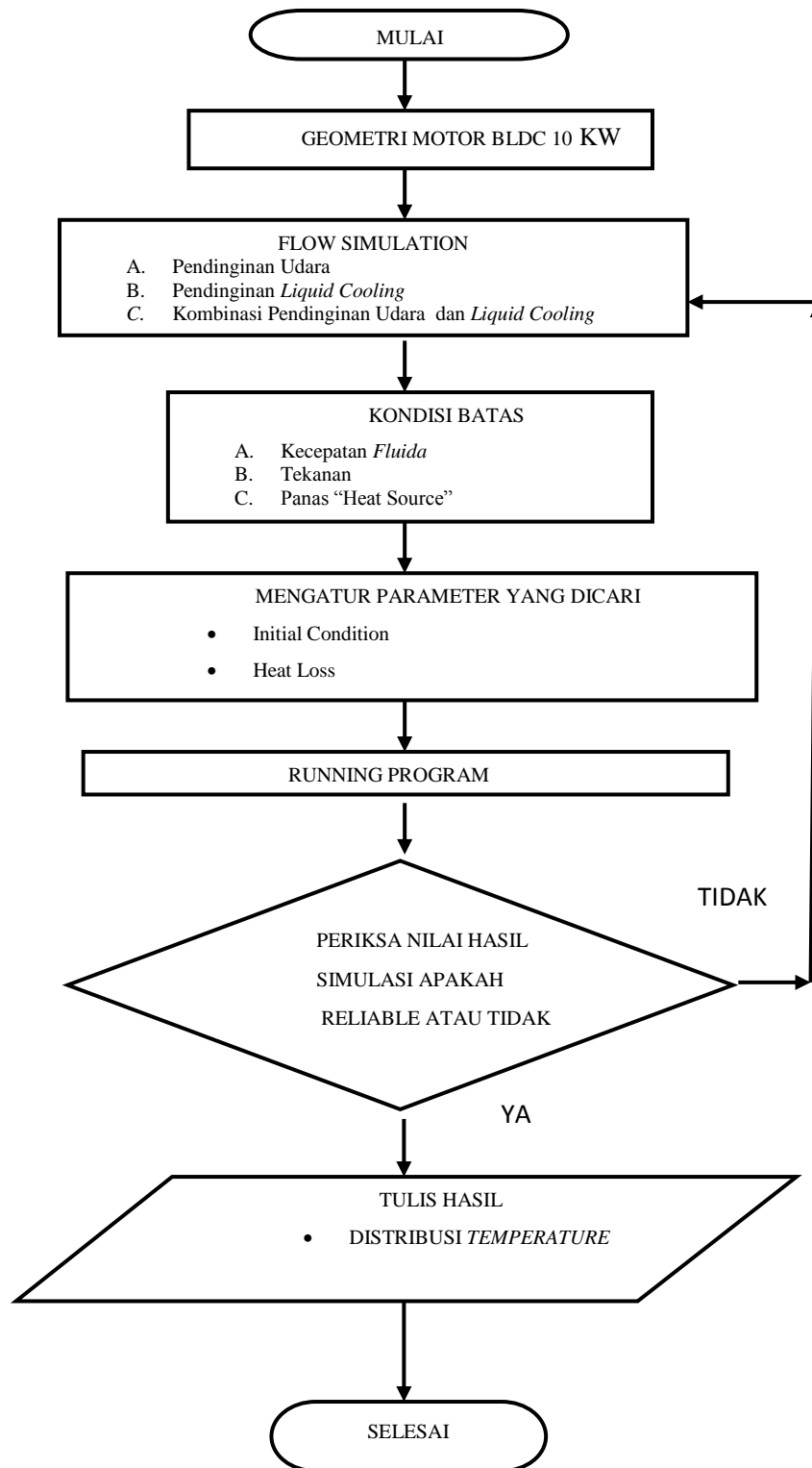
Pada penelitian yang dilakukan ini hasil yang akan ditampilkan adalah berupa distribusi *temperature* yang terjadi pada masing-masing variasi. Sehingga diperoleh hasil distribusi *temperature* dari tiga system pendinginan yang paling efisien dalam penelitian ini.

#### 3.2.6. **Pelaksanaan Penelitian**

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah seperti berikut :

1. Mengumpulkan dan mempelajari *literature*
2. Menjalankan trial pada tutorial *Solidworks*
3. Membuat pemodelan motor BLDC 10 KW pada *Solidworks*
4. Menampilkan flow simulation pada *Solidworks*
5. Menjalankan program
6. Memperbaiki kesalahan pemrograman, pemodelan dan proses kerja
7. Menyusun laporan penelitian

Gambar diagram alir simulasi :



Gambar 3.3. Diagram alir simulasi

## BAB IV

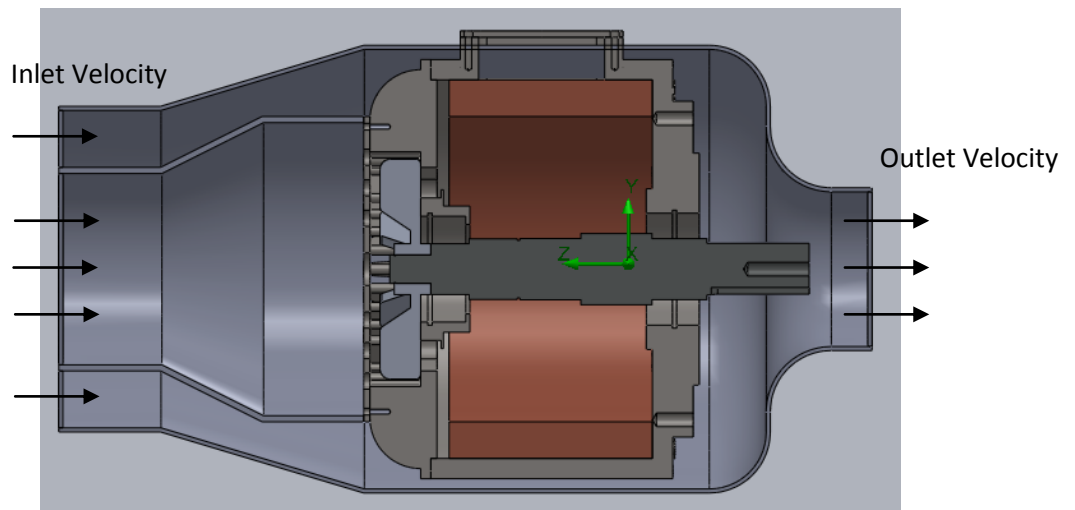
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### a. Validasi

Validasi dilakukan dengan cara memodelkan suatu motor yang sudah ada hasilnya. Validasi yang digunakan adalah pemodelan yang disusun Duc Thuan Vu dan Pyung Hwan. Vu dan Hwan melakukan pemodelan dengan memakai motor BLDC type *air cooling*.

Tujuan dari validasi ini adalah untuk membandingkan maksimum temperaturnya. Pemodelan yang dilakukan adalah dengan membuat suatu jalur aliran udara yang dipasangkan pada motor BLDC untuk membantu proses pendinginannya. Udara akan dilewatkan pada jalur pendinginan tersebut supaya proses pendinginan dari model dapat berjalan dengan baik.

Berikut ini adalah model motor BLDC yang telah dimodifikasi menggunakan jalur aliran udara:



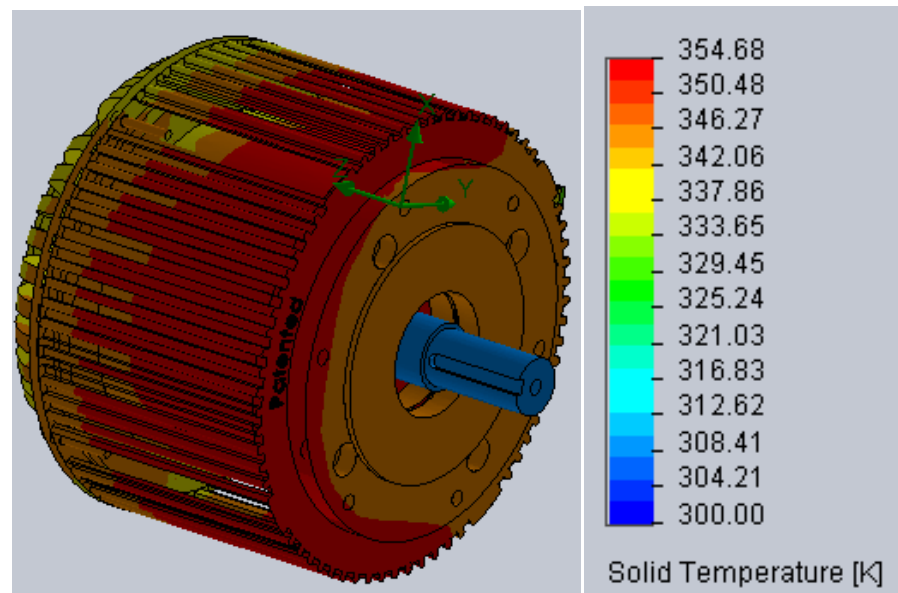
Gambar 4.1. Model Motor dengan jalur pendinginan udara

Dalam simulasi yang akan dilakukan, beberapa kondisi batas pada system adalah :

- Model : Motor BLDC 12 KW
- Heat Source : 450 Watt
- $\rho$  Udara : 1,17 kg/m<sup>3</sup>
- $v$  Udara : 12 m/s
- $T$  udara awal : 300 K

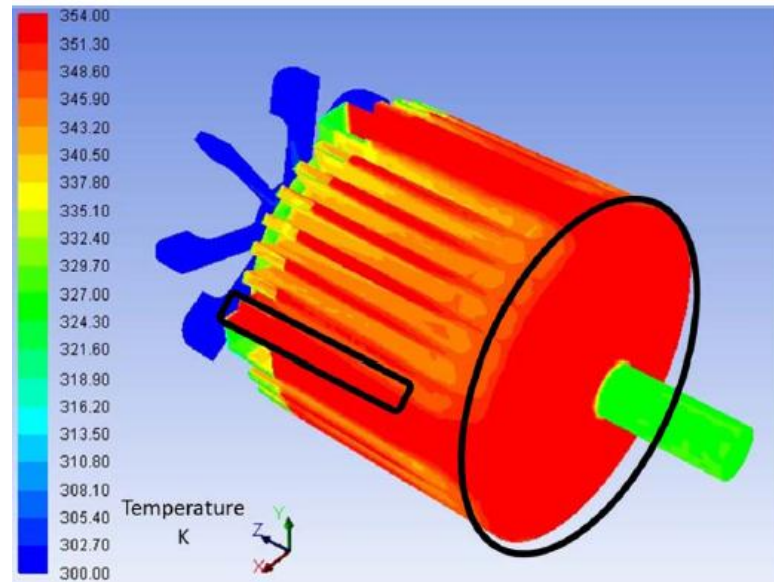
Pemodelan pertama adalah motor BLDC 12 KW diberi sumber panas 450 Watt dan dialiri udara dari luar (*ambient air*), dengan kecepatan 12m/s tanpa melewati jalur aliran udara dan suhu udara awal 300K, dalam analisa yang dilakukan ini akan diketahui suhu yang terjadi pada motor BLDC.

Berikut ini adalah hasil simulasi pada motor BLDC 12 KW tanpa jalur aliran udara:



Gambar 4.2. Distribusi *temperature* pada motor BLDC 12 KW tanpa jalur pendinginan udara.

Berikut ini adalah hasil simulasi pada motor BLDC 12 KW tanpa jalur aliran udara pada pemodelan motor yang dilakukan oleh Vu dan Hwan:



Gambar 4.3. Distribusi *temperature* pada motor BLDC tanpa jalur pendinginan udara yang dilakukan oleh Vu dan Hwan.

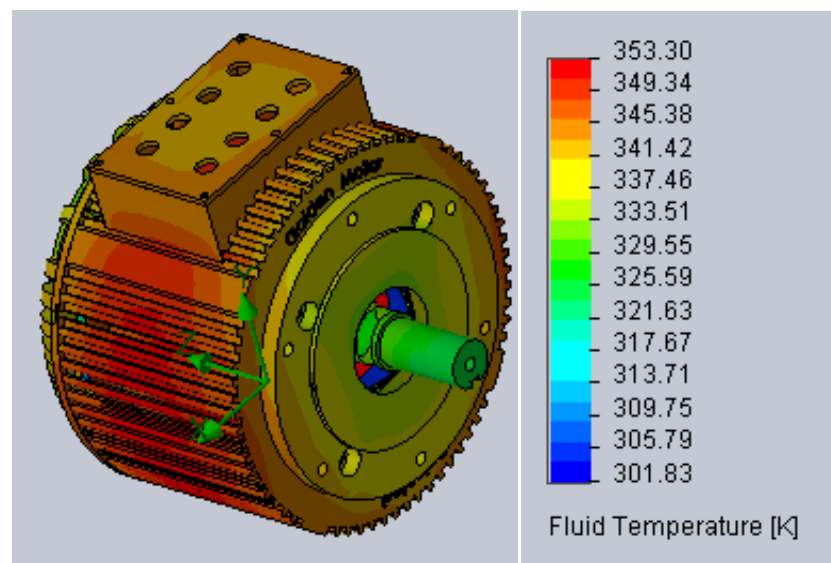
Pada kedua gambar di atas akan dibandingkan perbedaan distribusi temperatur pada model yang divalidasi dengan pemodelan yang dibuat Vu dan Hwan.

Tabel 4.1. Tabel perbandingan hasil model validasi dengan model dari Duc Thuan Vu dan Pyung Hwan tanpa jalur pendinginan udara

No	Item	Model Validasi	Model Vu dan Hwang	Persentase error
1	Temperature Tertinggi	354.68	354	0.16 %
2	Temperature Terendah	306.84	318.30	3.6%

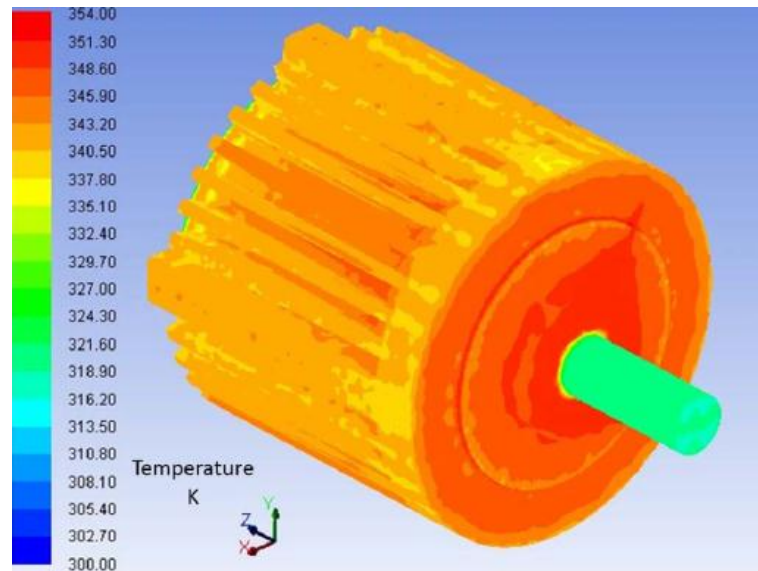
Pemodelan kedua adalah motor BLDC 12 KW diberi sumber panas 450 Watt dan dialiri udara dari luar (*ambient air*) , dengan kecepatan 12 m/s yang melewati jalur aliran udara dan suhu udara awal 300K, dalam analisa yang dilakukan ini akan diketahui suhu yang terjadi pada bodi motor BLDC.

Berikut ini adalah hasil simulasi pada motor BLDC 12 KW tanpa jalur aliran udara dengan modifikasi jalur aliran udara:



Gambar 4.4. Distribusi *temperature* pada motor BLDC 12 KW dengan jalur pendinginan udara.

Berikut ini adalah hasil simulasi pada motor BLDC 12 KW dengan jalur aliran udara pada pemodelan motor yang dilakukan oleh Vu dan Hwan:



Gambar 4.5. Distribusi *temperature* pada motor BLDC dengan jalur pendinginan udara yang dilakukan oleh Vu dan Hwan.

Pada kedua gambar di atas akan dibandingkan perbedaan distribusi temperatur pada model yang divalidasi dengan pemodelan yang dibuat Duc Thuan Vu dan Pyung Hwan.

Tabel 4.2. Tabel perbandingan hasil model validasi dengan model dari Duc Thuan Vu dan Pyung Hwan pada motor dengan jalur pendinginan udara

No	Item	Model Validasi	Model Vu dan Hwang	Persentase error
1	Temperature Tertinggi	353.30	343.30	2.91%
2	Temperature Terendah	300.44	313.50	4.16%



### b. Variasi Simulasi 1 (*Air Cooling*)

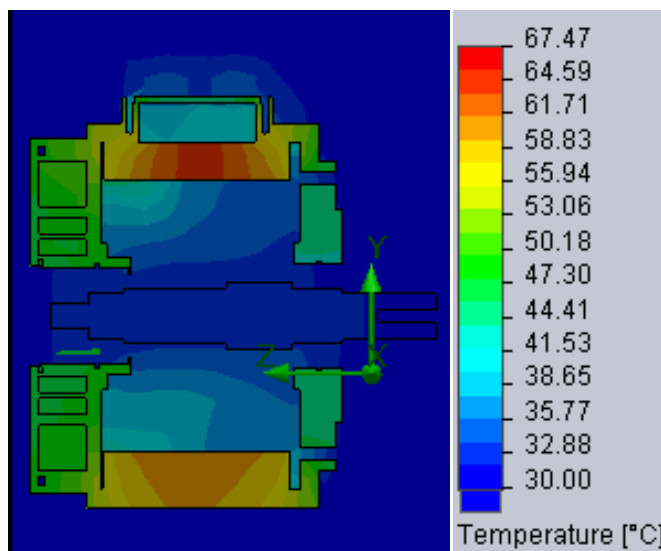
Variasi pertama yang dilakukan adalah motor BLDC 10 KW diberi sumber panas 500 Watt dan dialiri udara dari luar (*ambient air*), dengan kecepatan 12 m/s dan suhu udara awal 30°C, dalam analisa yang dilakukan ini akan diketahui suhu yang terjadi pada motor BLDC.

Berikut ini adalah tabel kondisi batas yang diberikan pada model

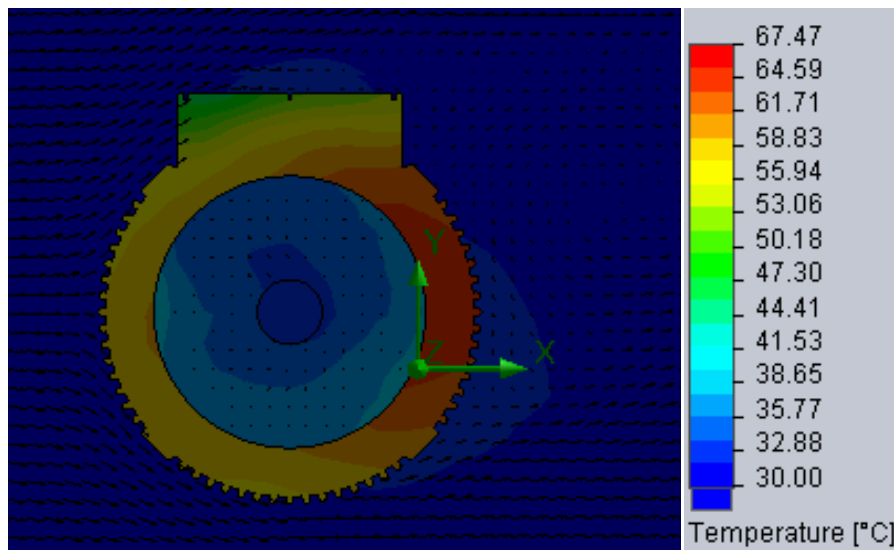
Tabel 4.3. Kondisi batas variasi simulasi 1 motor BLDC 10 KW(*air cooling*)

No	Parameter	Nilai
1	T udara lingkungan	30°C
2	V udara lingkungan	12 m/s
3	Heat Source	500 Watt

Berikut ini adalah gambar distribusi *temperature* hasil penelitian yang diberikan pada variasi 1:



Gambar 4.6. Distribusi *temperature* variasi 1(*air cooling*) sumbu-x



Gambar 4.7 . Distribusi *temperature* variasi 1(*air cooling*) sumbu-z

Dalam hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar di atas, dapat diketahui jika saat diberi sumber panas 500 Watt dan dengan adanya pendinginan, suhu yang tertinggi adalah 67.47 °C dan yang paling rendah adalah 30 °C, Suhu terendah dari model adalah berasal dari suhu lingkungan sekitar.

Dalam hasil yang ditunjukkan pada gambar di atas ditunjukkan pula arah aliran udara yang mengalir, bagian yang terpapar udara lebih dingin suhunya daripada bagian yang tidak terpapar udara.

### c. Variasi Simulasi 2 (*Liquid Cooling*)

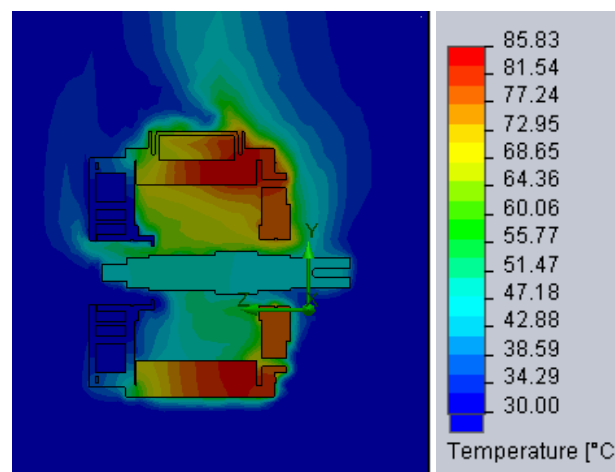
Dalam Variasi kedua yang dilakukan adalah motor BLDC 10 KW diberi sumber panas 500 Watt dan dialiri liquid pada system pendinginannya dengan *inlet mass flow* 0,05 kg/s, *environmental pressure* 1 atm, dan suhu *fluida* cair awal 30°C. System motor sendiri adalah Liquid Cooling dimana media *fluida* adalah yang menjadi pendinginannya. Pada simulasi ini suhu *fluida* akan ditahan pada suhu yang tetap dan akan bersirkulasi.

Berikut ini adalah tabel kondisi batas yang diberikan pada model

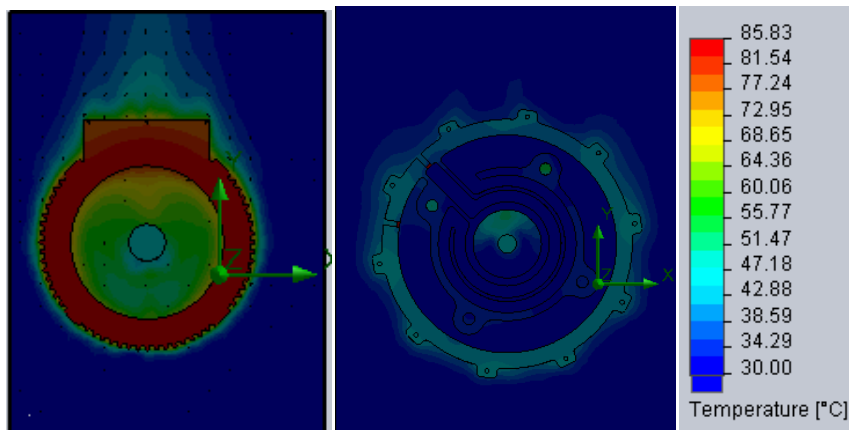
Tabel 4.4. Kondisi batas variasi simulasi 2 motor BLDC 10 KW (*liquid cooling*)

No	Parameter	Nilai
1	T udara lingkungan	30°C
2	<i>Inlet mass flow</i>	0.05 kg/s
3	Heat Source	500 Watt

Berikut ini adalah gambar distribusi *temperature* hasil penelitian yang diberikan pada variasi 2:



Gambar 4.8. Distribusi *temperature* variasi 2 (*liquid cooling*) sumbu-x



Gambar 4.9. Distribusi *temperature* variasi 2(*liquid cooling*) sumbu-z

Dalam hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar di atas, dapat diketahui jika saat diberi sumber panas 500 Watt dan dengan adanya pendinginan, suhu yang tertinggi adalah 85.83 °C dan yang paling rendah adalah 30 °C, Suhu terendah dari model adalah berasal dari suhu lingkungan sekitar.

Dalam hasil yang ditunjukkan pada gambar di atas ditunjukkan juga bagian yang dekat dengan jalur *liquid cooling* cenderung memiliki suhu yang dingin daripada bagian yang jauh dengan *liquid cooling*nya

#### d. Variasi Simulasi 3 (*Air Cooling+Liquid Cooling*)

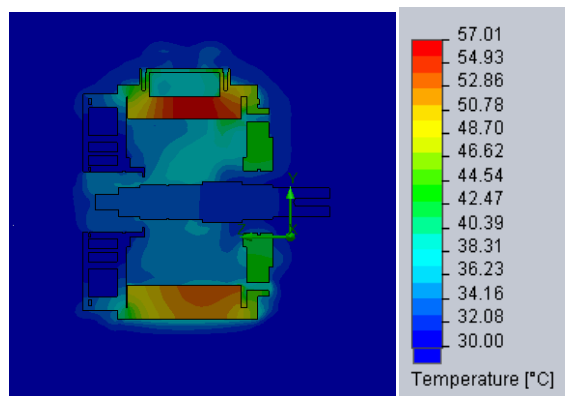
Variasi ketiga adalah kombinasi dari analisa pertama dan analisa kedua yang akan dilakukan. Motor BLDC 10 KW diberi sumber panas 500 Watt, kecepatan udara 12 m/s, suhu udara awal 30°C, *inlet mass flow* 0,05 kg/s *system liquidnya*, *environmental pressure* 1 atm, dan suhu *fluida* cair awal 30°C. Pada simulasi ini suhu *fluida* akan ditahan pada suhu yang tetap dan akan bersirkulasi.

Berikut ini adalah tabel kondisi batas yang diberikan pada model

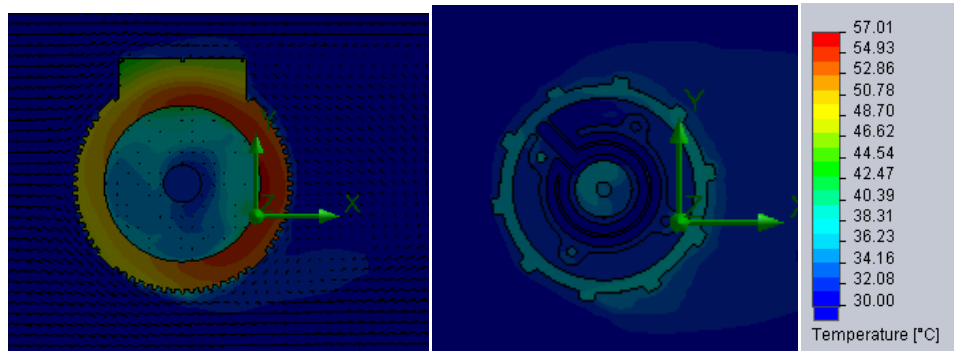
Tabel 4.5. Kondisi batas variasi simulasi 3 motor BLDC 10 KW(*air cooling+liquid cooling*)

No	Parameter	Nilai
1	T udara lingkungan	30°C
2	<i>Inlet mass flow</i>	0.05 kg/s
3	Heat Source	500 Watt
4	V udara lingkungan	12 m/s

Berikut ini adalah gambar distribusi *temperature* hasil penelitian yang diberikan pada variasi 3.



Gambar 4.10. Distribusi *temperature* variasi 3(*Air Cooling+liquid cooling*) pada sumbu-x



Gambar 4.11. Distribusi *temperature* variasi 3 (*Air Cooling+liquid cooling*) pada sumbu-z

Dalam hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar di atas, dapat diketahui jika saat diberi sumber panas 500 Watt dan dengan adanya pendinginan, suhu yang tertinggi adalah 57.01 °C dan yang paling rendah adalah 30 °C, suhu terendah dari model adalah berasal dari suhu lingkungan sekitar.

Dalam hasil yang ditunjukkan pada gambar di atas ditunjukkan juga bagian yang dekat dengan jalur *liquid cooling* cenderung memiliki suhu yang dingin daripada bagian yang jauh dengan *liquid cooling*nya dan begitu pula dengan bagian yang terpapar udara lebih dingin suhunya daripada bagian yang tidak terpapar udara.

**e. Pembahasan**

Setelah dilakukan 3 variasi simulasi, yaitu simulasi *air cooling*, simulasi *liquid cooling* dan simulasi kombinasi antara *air cooling* dan *liquid cooling* dapat diambil kesimpulan bahwa simulasi yang ketiga adalah simulasi dengan hasil yang paling rendah. Karena pada variasi ke 3 suhu dapat diturunkan sampai 57.01°C

Berikut ini adalah tabel perbandingan hasil simulasi 3 variasi

Tabel 4.6. Tabel perbandingan Temperatur maksimum dan minimum pada 3 variasi pendinginan

Temperature	unit	Udara	Fluida Cair	Udara+Fluida Cair
Temp. tertinggi	°C	67.47	85.83	57.01
Temp. terendah	°C	30	30	30

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan penelitian ini adalah :

- a. *Solidworks Flow Simulation* mampu memodelkan sistem pendinginan motor BLDC
- b. Temperatur terendah pada sistem pendinginan variasi 1(*air cooling*) adalah 67.47°C, pada sistem pendinginan variasi 2(*liquid cooling*) adalah 85.83°C, dan pada sistem pendinginan variasi 3(*air cooling+liquid cooling*) adalah 57.01°C.
- c. Sistem Pendinginan yang baik diperlukan dalam design motor BLDC

#### **5.2. Saran**

Saran yang diberikan setelah dilakukan penelitian adalah perlu di kembangkan penelitian lebih lanjut dengan variasi kecepatan udara, aliran air, dan heat source



### Daftar Pustaka

- Cengel, A.Y., 2008, *Heat Transfer A Practical Approach second edition*, USA: McGraw-Hill.
- Chang, Sy-Chi Kuo, Chen-Kang Huang, and Sih-Li Chen., 2009, *The Investigation of Motor Cooling Performance*
- Clad, Lars. 2013, *Cooling System for High Energy Efficient Electric Motors*, Norwegian University of Science and Technology : Trygve Magne Eikevik, EPT
- Handoyo dan Ahsan., 2012, *Analisis Kinerja Alat Penukar Kalor Jenis Shell and Tube Pendingin Aliran Air pada PLTA Jatiluhur*
- Hoffman, Klaus A.2000,*Computation Fluid Dynamics For Engineering Volume I*, Texas, USA: Engineering System<sup>TM</sup> Austin.
- Holman, JP., 1997,*Perpindahan Kalor*, Jakarta: Erlangga
- Incopera, F.P, Dewwit, D.P, Bergman, T.L, Lavine, A.S., 2011, *Fundamental Of Heat and Mass Transfer seventh edition*,USA : John Wiley & Sons
- Kuria, J., Pyung Hwang., 2011, *Optimizing Heat Sink Geometry for Electric Vehicle BLDC Motor Using CFD*
- Patel, C. D., 2014, *Parameter Optimization of Shell and Tube Type Heat Exchanger for Improve Its Efficiency*, Ijerst
- Vu and Hwang., 2013, *New Cooling System Design of BLDC Motor for Electric Vehicle Using Computation Fluid Dynamics Modeling*

**LAMPIRAN**

1. BOSCH FUEL PUMP

Product Information

Downloads

### Electric Fuel Pumps – the Complete Range from the System Specialists

Bosch electric fuel pumps are optimized for the specific engine type and are produced to stringent quality standards:

- Extremely reliable operation
- Particularly high requirements for new vehicles met
- Long service life
- Minimal noise generation
- Optimal fuel supply
- Optimum reliability for gasoline supply
- High interference suppression

### Reliability for High Performance

The electric fuel pump (EKP) must supply the engine with sufficient fuel at the pressure required for injection under all operating conditions. It is also increasingly assuming the function of a pre-supply pump for modern direct injection systems in both gasoline and diesel engines. The principal requirements:

- Supply rate between 60 and 200 l/h at rated voltage
- Pressure in fuel system between 300 and 450 kPa (3-4.5 bar)
- Build-up of system pressure from 60% to 70% of rated voltage; cold starting operation is definitive for this.

The Bosch universal range:  
**7 instead of 72**



**One type for a variety of applications: The universal electric fuel pump range from Bosch** The 72 pumps used in the past can now be replaced by just 7 universal electric fuel pumps from Bosch. Parts set is the key - Each of the 7 electric fuel pumps is supplied with a parts set and easy to follow installation instructions. These pumps form the Bosch universal range.

Order number	Applications
0 580 254 053	Audi, Porsche
0 580 254 909	Audi, Bentley, BMW, Peugeot, Volvo, VW
0 580 254 910	Audi, Ferrari, Ford, Mercedes-Benz, Suzuki, VW
0 580 254 911	Ford, Mercedes-Benz, Toyota
0 580 464 069	Alfa Romeo, Citroën, Fiat, GAZ, Porsche, Renault, Saab, Volvo
0 580 464 070	Alfa Romeo, AMC, Austin, BMW, Chevrolet, Citroën, Daewoo, Fiat, Ford, Holden, Jaguar, Lancia, Opel, Peugeot, Porsche, Renault, Rover, Seat, Vauxhall, VW
0 580 464 085	Fiat, Holden, Opel, Renault, Seat, VW

## 2. BLDC GOLDEN MOTOR 10 KW

### *48 Volt 10KW BLDC Motor Liquid Cooled*



### Product Description

- Model : HPM-10KW -- High Power BLDC Motor
- Voltage : 48V/72V/96V/120V
- Rated Power : 8KW-20KW
- Efficiency : 91%
- Phase Resistance : 3.1/48V; 6.0/72V; 18.0/120V
- Phase Induction : 34uH/48V; 77uH/72V; 252uH/120V
- Speed : 2000-6000rpm (customizable)
- Weight : 17Kgs Casing: Aluminium
- Length (height) : 170mm Diameter: 206mm

### 3. Properties of Water

*Table A.8*

Properties of Water (SI Units)

Temperature, $T(^{\circ}\text{C})$	Density, $\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$	Dynamic Viscosity, $\mu \text{ (N} \cdot \text{s/m}^2\text{)}$	Kinematic Viscosity, $\nu \text{ (m}^2\text{/s)}$	Surface Tension, $\sigma \text{ (N/m)}$	Vapor Pressure, $p_v \text{ (kPa)}$	Bulk Modulus, $E_v \text{ (GPa)}$
0	1000	1.76E-03	1.76E-06	0.0757	0.661	2.01
5	1000	1.51E-03	1.51E-06	0.0749	0.872	
10	1000	1.30E-03	1.30E-06	0.0742	1.23	
15	999	1.14E-03	1.14E-06	0.0735	1.71	
20	998	1.01E-03	1.01E-06	0.0727	2.34	2.21
25	997	8.93E-04	8.96E-07	0.0720	3.17	
30	996	8.00E-04	8.03E-07	0.0712	4.25	
35	994	7.21E-04	7.25E-07	0.0704	5.63	
40	992	6.53E-04	6.59E-07	0.0696	7.38	
45	990	5.95E-04	6.02E-07	0.0688	9.59	
50	988	5.46E-04	5.52E-07	0.0679	12.4	2.29
55	986	5.02E-04	5.09E-07	0.0671	15.8	
60	983	4.64E-04	4.72E-07	0.0662	19.9	
65	980	4.31E-04	4.40E-07	0.0654	25.0	
70	978	4.01E-04	4.10E-07	0.0645	31.2	
75	975	3.75E-04	3.85E-07	0.0636	38.6	
80	972	3.52E-04	3.62E-07	0.0627	47.4	
85	969	3.31E-04	3.41E-07	0.0618	57.8	
90	965	3.12E-04	3.23E-07	0.0608	70.1	2.12
95	962	2.95E-04	3.06E-07	0.0599	84.6	
100	958	2.79E-04	2.92E-07	0.0589	101	

## 4. Properties of Air

*Table A.10*

Properties of Air at Atmospheric Pressure (SI Units)

Temperature, $T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	Density, $\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )	Dynamic Viscosity, $\mu$ ( $\text{N} \cdot \text{s/m}^2$ )	Kinematic Viscosity, $\nu$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
0	1.29	1.72E-05	1.33E-05
5	1.27	1.74E-05	1.37E-05
10	1.25	1.76E-05	1.41E-05
15	1.23	1.79E-05	1.45E-05
20	1.21	1.81E-05	1.50E-05
25	1.19	1.84E-05	1.54E-05
30	1.17	1.86E-05	1.59E-05
35	1.15	1.88E-05	1.64E-05
40	1.13	1.91E-05	1.69E-05
45	1.11	1.93E-05	1.74E-05
50	1.09	1.95E-05	1.79E-05
55	1.08	1.98E-05	1.83E-05
60	1.06	2.00E-05	1.89E-05
65	1.04	2.02E-05	1.94E-05
70	1.03	2.04E-05	1.98E-05
75	1.01	2.06E-05	2.04E-05
80	1.00	2.09E-05	2.09E-05
85	0.987	2.11E-05	2.14E-05
90	0.973	2.13E-05	2.19E-05
95	0.960	2.15E-05	2.24E-05
100	0.947	2.17E-05	2.29E-05